

- 13 -

616-1 EL POLVO EN LAS FABRICAS DE CEMENTO

(Staub in Zementwerken)

Wilhelm Anselm.

De: "ZEMENT", 28, nº 12, pág. 15.



No se puede evitar actualmente que se produzca mucho polvo en las industrias modernas. La técnica de la trituración y pulverización está tan desarrollada que no se originan solamente molestias dentro de la fábrica, sino también en sus alrededores. Esto se aplica, sobre todo a las fábricas que trabajan con piedras y tierras, en minas y centrales térmicas que trabajan con carbón y en las fábricas de briquetas.

Las fábricas donde existe más acusadamente este peligro del polvo, son las de cemento. La producción de polvo ha aumentado en los últimos 15 años en las fábricas de cemento y en las centrales térmicas, porque la producción de las máquinas ha subido al triple; pero la producción de polvo no se ha triplicado, sino que ha aumentado, en general, en una proporción más elevada.

Por eso estamos en un periodo agudo del problema del polvo, que trataremos aquí en su relación con las fábricas de cemento. Estas explicaciones comprenden un estudio del polvo y de su pequeñez, una descripción de las fábricas actuales de cemento, así como de las fuentes de polvo que existen en ellas. A conti-

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

muación se trata de las instalaciones eliminadoras de polvos y del rendimiento de las mismas y después de los problemas higiénicos y sus consecuencias para los obreros.

El polvo

Debido a las máquinas de desmenuzamiento y a los aparatos de calcinación se produce bastante polvo en las fábricas de cemento, debiéndose considerar también como polvo el producto final. Pero al considerar el grano del cemento molido veremos en seguida, que todas las partículas son mucho más pequeñas que 100μ , ó lo que es lo mismo inferiores a 0,1 mm; además hay un porcentaje bastante elevado de $5 - 10 \mu$, es decir 0,005 - 0,01 mm. Para tener una idea de las partículas extraordinariamente finas que se producen al desmenuzar y triturar, veamos la fig. 1. En ella se muestra un pelo humano cuyo grosor es de 60μ aproximadamente, es decir 0,006 mm; también se ve un hilo de telaraña con un grosor de 5μ . La mayoría de las partículas de polvo están entre estos límites del pelo humano y de la telaraña. Es interesante que las partículas ultrafinas corresponden al diámetro de un glóbulo de la sangre, es decir 10μ más o menos. Durante mucho tiempo no se sabía nada concreto acerca de la constitución del grano de polvo, porque es enormemente difícil tamizar materiales pulverulentos con un tamiz que tenga más de 10.000 mallas/cm², y a través del cual pasan todas las partículas que tienen menos de 60μ . Además

poseemos otro tamiz con 4.900 mallas para el paso de 88μ , y un tamiz con 90 mallas/cm² para partículas de 200μ . Pero en los últimos años se han construido aparatos que trabajan fundados en la velocidad de caída de las partículas de polvo en gases o en líquidos (sedimentación). Por medio de estos dos procedimientos se ha investigado la distribución de granos hasta 5μ ; por debajo de esta cifra tampoco hoy sabemos nada. Hay que tener en cuenta que también en el microscopio se pueden ver prácticamente solamente las partículas de $0,5\mu$, porque aquí estamos en un límite del microscopio, porque la longitud de onda de la luz blanca es aproximadamente $0,25\mu$. Solamente el microscopio electrónico puede hacer visibles hoy estas partículas finas.

Se conocen como polvos, en general, los pequeños cuerpos que, a causa de su pequeñez, no obedecen a las leyes de la gravitación, y por lo tanto necesitan más tiempo para caer al suelo. Así por ejemplo, una partícula de 10μ cae en 1 minuto, 500 mm. mientras que una partícula de 1μ cae en 1 minuto solamente 5 mm. Por medio de los aparatos mencionados anteriormente era posible saber algo acerca del comportamiento del grano de polvo, principalmente por la velocidad de caída, que depende del tamaño del grano, del medio filtrante, es decir del aire o del gas y del peso específico de ambos (Fig. 2).

La distribución granulométrica de los granos representa una mezcla de partículas de diferentes diámetros, o de particu-

las de diferentes velocidades de caída respectivamente, lo que quiere decir más o menos lo mismo, porque el diámetro y la velocidad de caída tienen una relación fija según la ley de Stokes, conocido el peso específico. No se trata aquí de las leyes y fórmulas de cálculo de los granos de polvo; solamente indicaremos que todo lo necesario para dichos cálculos está contenido en las publicaciones conocidas por los técnicos, para evitar el polvo, cuyos cuadernos "STAUB" reúnen todo lo más importante acerca de los polvos. La figura 2 muestra el comportamiento de los granos de polvos diferentes, que existen en las fábricas de cemento. La granulometría de los productos de trituración, especialmente del carbón, ha sido investigada por Rosin, Rammler y Sperling en centenares de investigaciones y pruebas, y obedece a la ley exponencial, que corresponde también a otras materias. Por medio de la aplicación de un diagrama logarítmico adecuado es posible dibujar una recta con un ángulo determinado respecto a la abscisa, para la distribución del grano de una harina según esta ley; la inclinación de la recta (aproximadamente 45° , tratándose del cemento) representa un índice, que es el característico para la trituración. El carbón y el cemento corresponden exactamente a las mismas leyes; hay que mencionar que los tamaños diferentes de estas dos materias (curvas 3, 4 y 5) representan rectas paralelas para la misma trituración. Las curvas 1 y 2 de este gráfico corresponden a los polvos aspirados de molinos y tienen otro ángulo, porque

los finos son aspirados antes que los gruesos como es lógico. Sucede lo contrario con las líneas 6, 7 y 8, que probablemente corresponden a una mezcla de granos de diferente grado de trituración. El material a estudiar se introduce en forma de gránulos en un aparato especial de calcinación y mezcla, con el que los finos se juntan con los gruesos. Para las líneas correspondientes al polvo y cenizas volantes se indican únicamente valores medios, por medio de rectas, porque en la práctica las líneas son más irregulares. La línea $x = 36,8$ es, a la vez, una línea índice, para poder comparar los polvos en magnitudes absolutas. También se ve exactamente en estas gráficas cómo los procedimientos de selección por medio de tamices hacen aparecer solamente las partículas más gruesas, es decir las de más de 60μ , de las cuales quizás hay solamente 10 - 20%. El restante 80% no puede ser captado en este procedimiento. Tal como se ha averiguado por medio de centenares de pruebas, la trituración obedece a leyes exactísimas, y por eso será posible, en el futuro, determinar exactamente las rectas de distribución de granos, fijando solamente dos puntos, por ejemplo los correspondientes a 20μ y 60μ .

Las gráficas de la fig. 3 muestran la velocidad de caída de partículas de polvo según una versión moderna de la ley de Stokes, debida a Frösling. Como se ve claramente, la velocidad de caída es diferente (con un tamaño igual del grano) según el peso específico (por ej.: cemento y carbón). Se recomienda reempla-

zar el término "tamaño del grano" por el de la velocidad de caída, porque el tamaño del grano, determinado por medio de la ley de Stokes o sus variantes se refiere a una hipotética forma esférica ideal de las partículas de polvo.

Hay que insistir en que el polvo en las fábricas de cemento representa un producto muy valioso, porque se trata de partículas muy finas que han sufrido la trituración más a fondo.

Las fábricas de cemento

Vamos a explicar brevemente los diferentes procedimientos que se emplean en las fábricas modernas de cemento, y las fuentes de polvo que existen según los diferentes procesos de fabricación (fig. 4). Tratándose del procedimiento de vía seca, los crudos como la piedra caliza y la arcilla (barro, greda), se secan y trituran y luego se introducen en los hornos giratorios para la calcinación. El carbón que se necesita para la cocción, también se seca y tritura en molinos especiales modernos. El producto resultante - clinker -, se tritura en molinos de cemento y se ensaca en máquinas automáticas. Las fuentes del polvo son por lo tanto los secaderos de crudos, los molinos para los mismos, los hornos rotatorios, las instalaciones para secar y triturar el carbón, los molinos de cemento y las ensacadoras. Tratándose del procedimiento por vía húmeda, se mezclan los crudos con agua, y se tritura la papilla en molinos en forma de lodo espeso. Este crudo se introduce en los hornos para la calcinación, y a partir de aquí, el procedi-

miento es igual a la vía seca. Aquí no hay fuentes de polvo en los secaderos y molinos de crudo. Otro procedimiento de fabricación es el de los hornos verticales en los que, aparte de las fuentes de polvo inherentes al horno mismo, existen las mismas condiciones que en el sistema de vía seca. Otros orígenes de polvo son en las fábricas de cemento, todas las instalaciones de transporte como cangilones y tornillos sin fin. En los últimos años se han construido preferentemente instalaciones neumáticas de transporte que producen poco polvo.

La fig. 4 muestra un esquema de fábrica de cemento según el procedimiento de vía húmeda, en el que se indican las cantidades de aire o de gases de salida producidas, el polvo recuperable y la pérdida de polvos.

El dibujo muestra la relación entre las cantidades de aire de salida y las de cemento fabricado. El procedimiento de vía seca produce 25% más de gases de salida y cerca de 15% más de polvo. Medidas en volumen, las cantidades de gases de salida y de producto acabado, en una fábrica de cemento vía seca, están en la relación 10: 1, o sea, que por cada m^3 de cemento se producen $10 m^3$ de gases, cifra que parece extraordinaria.

T A B L A I
Producción de polvo

Procedi- miento	Máquina	g/m ³ gas de salida temperatura de tra- bajo.	% de polvo	
			en relación con el crudo	en relación con cemento
seco	secadero de crudo	10 - 30 (:50)	3 - 9	-
seco	molino de "	15 - 35	1 - 3	-
seco	secadero de la harina	600 - 800	100	-
húmedo	molino de crudo	" 0	0	-
seco	horno giratorio normal	10 - 20	4 - 8	6 - 12
seco	" " Lepol	5 - 10	1,5 - 3	2,2 - 3,5
húmedo	" " normal	5 - 10	2,5 - 5	4 - 8
húmedo	" " con calentador	12 - 18	6 - 9	7 - 11
húmedo	" " con calentador de cadenas	15 - 25	10 - 16	15 - 25
-	secadero de polvo de carbon	15 - 25 (:50)	-	2 - 4
-	" " carbon	5 - 20	-	2 - 8
-	molinos de cemento	10 - 20 (:50)	-	0,7 - 1,5
-	embocadoras	5 - 15 (:50)	-	0,1 - 0,3
parrilla } giratoria }	hogar de caldera	3 - 10	-	2 - 5
polvo de } carbon }	hogar de caldera	5 - 10	-	4 - 6
Stocker	hogar de caldera	1 - 2	-	-

- 20 -

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

T A B L A II

Aspiradores de una fábrica de cemento con una producción de 50 Tm/hora con procedimiento de vía seca y húmeda respectivamente

		I	II	III	IV	V
Vía húmeda		-	-	-	hornos rotatorios con calcinador	secadero de polvo de carbón
Vía seca		secadero de crudo a fuego directo	molinos de crudo	hornos rotatorios (Lepol)	-	-
Número		2.-	4.-	4.-	4.-	1.-
Tiempo	h	24.-	24.-	24.-	24.-	24.-
Producción	kg/h	80.000.-	80.000.-	80.000.-	80.000.-	(11.500)
Gas de salida	m ³ /h	200.000.-	60.000.-	240.000.-	400.000.-	(16.000)
Gas de salida	Nm ³ /h	150.000.-	50.000.-	176.000.-	300.000.-	(13.000)
Temperatura	°C	100.-	50.-	100.-	100.-	(70)
Tipo de aspirador		filtro de tubo o eléctrico	filtro de tubo.	eléctrico	eléctrico	ninguno
Dimensión de aspirador con filtro	m ²	2x750=1500	4x150=600	-	-	Introducido al horno por ventiladores de soplado
Grado de recuperación garantizado.	%	99.-	99.-	95.-	95.-	
Grado de recuperación, servicio	%	95.-	95.-	90.-	90.-	
Contenido en polvo del aire de salida	g/m ³	20.-	20.-	6,7	15,0	
Cantidad de polvo	kg/h	4.000.-	1.200.-	1.600.-	6.000.-	
% de polvo rendimiento	%	5.-	1,5	2.-	7,5	
Cantid. de polvo recup.	kg/h	3.800.-	1.140.-	1.440.-	5.400.-	
Polvo perdido	kg/h	200.-	60.-	160.-	600.-	
Polvo en gas de salida después de la limpieza	g/m ³	1,0	1,0	0,5	1,5	
Pérdida de aire	mm WS	100.-	70.-	4.-	4.-	
Coste des aspirador con instal. y montaje	RM	120.000.-	40.000.-	240.000.-	360.000.-	
Economía por año	RM	80.000.-	24.000.-	43.000.-	110.000.-	
Pérdidas por año	RM	4.000.-	1.200.-	4.800.-	12.000.-	
Consumo de fuerza	RM	36.000.-	12.000.-	1) 7.000.-	1) 10.000.-	
Vigilancia	RM	1.000.-	1.000.-	2.000.-	2.000.-	
Costes de reparación	RM	12.000.-	4.000.-	4.000.-	4.000.-	
Amortización (filtros 10 %)	RM	12.000.-	4.000.-	24.000.-	36.000.-	
En total		61.000.-	21.000.-	37.000.-	52.000.-	
Economía efectiva	RM	19.000.-	3.000.-	6.000.-	58.000.-	

1) sin calcular el ventilador

T A B L A II

(Continuación)

Vía húmeda		VI	VII	VIII	IX	X
Vía seca		Secadero de polvo de carbon	Molinos de cemento.	Ensayadoras	Proced. en seco	Proced. en húmedo.
					Total	Total
Número		1.-	4.-	2.-		
Tiempo	h	24.-	24.-	24-8	24.-	24.-
Producción	kg/h	7.000.-	50.000.-	50.000.-	50.000.-	50.000.-
Gas de salida	m ³ /h	10.000.-	36.000.-	10.000.-	556.000.-	446.000.-
Gas de salida	Nm ³ /h	8.000.-	30.000.-	9.000.-	427.000.-	359.000.-
Temperatura	°C	70.-	50.-	30.-	85.-	87.-
Tipo de aspirador		filtro de tubo o eléctrico	filtro de tubo	de tubo	-	-
Dimensión de aspirador con filtro	m ²	..	4x80=320	80	-	-
Grado de recuperación garantizado	%	99.-	99.-	99.-	-	-
Grado de recuperación servicio	%	95.-	95.-	95.-	94.-	91.-
Contenido en polvo del aire de salida	g/m ³	21.-	14.-	10.-	13,7	14,8
Cantidad de polvo	kg/h	210.-	500.-	100.-	2) 7.610.-	2) 6.610.-
% de polvo rendimiento	%	3.-	1.-	0,2	15,2	13,2
Cantidad de polvo recup.	kg/h	200.-	475.-	95.-	7.150.-	5.970.-
Polvo perdido	kg/h	10.-	25.-	5.-	460=0,92 %	630=1,26 %
Polvo en gas de salida después de la limpieza	g/m ³	1,0	0,7	0,5	0,83	1,41
Pérdida de aire	mm WS	4.-	70.-	70.-		
Coste del aspirador con instal. y montaje	RM	35.000.-	24.000.-	6.000.-	465.000.-	390.000.-
Economía por año	RM	29.000.-	65.000.-	14.000.-	255.000.-	189.000.-
Pérdidas por año	RM	1.400.-	3.500.-	700.-	24.200.-	24.800.-
Consumo de fuerza	RM	1.000.-	8.000.-	2.000.-	66.000.-	20.000.-
Vigilancia	RM	500.-	1.000.-	500.-	6.000.-	3.500.-
Costes de reparación	RM	500.-	2.000.-	500.-	23.000.-	6.500.-
Amortización (filtros 10 %)	RM	3.500.-	2.400.-	600.-	46.500.-	39.000.-
Total		5.500.-	13.400.-	3.600.-	141.500.-	69.000.-
Economía efectiva	RM	23.500.-	51.600.-	10.400.-	113.500.-	120.000.-

2) en relación al rendimiento final

T A B L A III

Aspiradores y cantidad de polvo y valor del mismo

	Cantidad en tonelad.	Coste de las fábricas RM/ Tm. de cemento	Valor	
Producción de las fábricas alemanas de cemento..... Cantidad total 1938	15.000.000	20.-	300.000.000.-	= Valor de las fábricas ale- manas de cemento
14 % de polvo al año	2.100.000	3.-	6.300.000.-	= 14% de la producción total = 2,1% del valor = 14 g/m ³
De este: 76,0% recuperado actualmen- te.....	1.600.000	3.-	4.800.000.-	= 10,7% de la cantidad total = 1,6% del valor = 10,7 g/m ³
10,0 % pérdida absoluta...	210.000	3.-	630.600.-	= 1,4% de la cantidad total = 0,21% del valor = 1,4 g/m ³
14,0% para recuperar aún..	290.000	3.-	870.000.-	= 1,9% de la cantidad total = 0,29% del valor = 1,9 g/m ³
<u>100,0 %</u>				
Valor de los aspiradores para instalar.....	15.000.000	1,20	18.000.000.-	= 6% del valor de la fábrica = 120,00.- por fábrica
ya instalados actualmente.			13.000.000.-	(estimación)
para instalar aún.....			5.000.000.-	

- 23 -

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

La tabla I nos indica la producción de polvo en gramos/m³ de gas y en porcentajes con respecto a la cantidad de producto fabricado. Resulta que, especialmente los secaderos y los molinos de crudo, y después los hornos, producen mucho polvo. Pensando que solo se puede dejar salir al aire libre el gas conteniendo unos 2 - 3 gramos por m³, es posible hacerse una idea de la importancia del problema del polvo en las fábricas de cemento.

En la tabla II se indica la recuperación de polvos en una fábrica de cemento con una producción de 50 toneladas por hora, según el procedimiento en seco y vía húmeda respectivamente, tomando como base unas fábricas determinadas. En ellas se emplean, en la vía seca, los hornos más modernos Lepol, y el procedimiento de vía húmeda, los hornos rotatorios con calcinadores. Según la tabla hay que calcular 10 m³ de gases de salida por 1 m³ de producción, los cuales se pueden despolverear con los dispositivos modernos hasta un 90%. 1 m³ de gases de salida puede contener, por término medio, 14 gramos de polvo, que pueden ser recuperados con los aparatos modernos hasta dejar solamente 1,4 gramos/m³. Una fábrica de cemento puede ganar 120.000 marcos al año con el polvo recuperado, aunque tenga que gastar 400.000 marcos para la instalación de recuperación.

La tabla III muestra la producción de polvo y los aparatos necesarios de recuperación de todas las fábricas alemanas de cemento, según los cálculos anteriores. Hay que suponer que 14%

de la producción total de la industria alemana de cemento es polvo, y que se recoge hoy en día un 76% de él. Habrá un 10% de pérdida constante, porque el grado de recuperación se eleva, a lo sumo, a 90%. El rendimiento es solamente 90%, aunque los fabricantes de los aparatos garantizan cifras mayores, que, en la práctica no se pueden alcanzar.

Pero, como se vé, es posible recuperar otro 14% mediante el perfeccionamiento y la instalación de nuevos aparatos de recuperación, lo que corresponde a una ganancia de 870.000 marcos, o 2% de la cifra total de producción. Calculando el valor de las instalaciones nuevas que se necesitarán, según la tabla anterior, hay que gastar quizá unos 18.000.000 marcos, de los que 13.000.000 marcos ya están instalados. Para recuperar el último 14% se necesitan recuperadores de alta calidad, que cuestan, aproximadamente 5.000.000 marcos. Resulta de los cálculos, que la producción de polvo en el gas de salida de la industria alemana de cemento se eleva hoy en día a unos 3,3 gramos/m³; en el futuro será, posiblemente 1,4 gramos/m³. Prácticamente hay que contar con un término medio de 2 gramos de polvo en el m³ de gas de salida. Los aparatos de eliminación de polvos en las fábricas de cemento no solamente sirven para la recuperación, sino que también son necesarios para aspirar rápidamente la harina fina de la trituración, para que no se pueda formar una carga inútil de finos en el molino, lo que disminuiría el rendimiento de los mismos. Como se vé, para aumentar -

la producción del molino hay que instalar un aparato de desempolvado. Los aparatos modernos en las instalaciones de trituración y secado de ~~crudos~~, no aspiran solamente el polvo sino toda la producción y la dejan en depósitos especiales.

Los aspiradores de polvo

Al considerar un aspirador de polvo hay que tener en cuenta de qué manera se comportará un polvo de características dadas en un campo de fuerzas determinado. Entonces se sabe qué clase de aspirador hay que construir, y qué grado de despolvado puede obtenerse. El objeto de un aspirador es la separación del polvo de su gas portador, y por eso hay que conocer las propiedades de ambos. Para separar los dos hay que ejercer una fuerza en el polvo. Según las clases de estas fuerzas pueden dividirse los aspiradores en: aspiradores de gravitación (cámaras de polvo), donde se ejerce pocas fuerzas; aspiradores de fuerza centrífuga (ciclones) en los que se ejerce una cierta fuerza centrífuga sobre las partículas; y además, aspiradores electrostáticos (filtros eléctricos) donde un campo eléctrico ejerce su fuerza en el polvo; filtros de tela (filtros en tubos), donde hay que observar la estrechez de los poros, la adhesión, y el roce de las partículas de polvo en los poros de la tela etc. Para la selección adecuada de un aspirador es decisivo la característica del polvo y del gas, y la finalidad que quiere alcanzarse, por ejemplo, la higiene o la rentabilidad. El polvo representa en las fábricas de cemento, tal

como ya hemos dicho, un cierto valor, por eso merece la pena gastar algo para la instalación de los aspiradores. Además es un deber reducir el contenido de polvo para que los gases de salida no representen un peligro de contaminación. La técnica del desempolvado y los conocimientos acerca del polvo y de gases han sido tan desarrollados hoy día, en Alemania que en este país se poseen más experiencias en esta materia que en cualquier otro. Mencionaremos solamente las diferentes investigaciones sobre las instalaciones de recuperación en relación con la distribución granulométrica de los polvos según el tamaño y dimensiones de la partícula, y las velocidades de caída. La técnica de la eliminación de polvos está desarrollándose continuamente, y es todavía demasiado pronto para tener un juicio definitivo referente al rendimiento de los aspiradores. Probablemente se puede lograr hoy en día, que absorban todas las partículas por encima de 15μ , pero no se puede pedir que salgan solamente 2 gramos de polvo por metro cúbico de gas de salida por la chimenea. (Continuará)
